

Mémoire de Maîtrise en médecine No 1379

Effets de l'adaptation prismatique sur les représentations visuo-spatiales dans le lobe pariétal inférieur

Etudiant

Kathrin Ader

Tuteur

Stéphanie Clarke, Chef de Service,
Service de Neuropsychologie et Neuroréhabilitation, CHUV

Co-tuteur

Dr Sonia Crottaz-Herbette
Service de Neuropsychologie et Neuroréhabilitation, CHUV

Expert

Dr Marzia de Lucia
Centre d'Imagerie Biomédicale, CHUV

Lausanne, août 2013

Table des matières

1. Résumé.....	3
2. Introduction.....	4
2.1 L'héminégligence	4
2.2 Techniques de réhabilitation de l'héminégligence	5
2.2.1 Adaptation prismatique chez les patients héminégligents	6
2.2.2 Adaptation prismatique chez les sujets sains.....	8
2.3 But de l'étude.....	8
3. Méthode.....	10
3.1 Participants	10
3.2 Déroulement de l'expérience.....	10
3.3 Adaptation prismatique.....	11
3.4 Tâches comportementales.....	12
3.5 Acquisitions et prétraitement de l'IRM et de l'IRMf.....	12
3.6 Analyses statistiques des données comportementales.....	13
3.7 Traitement et analyse des données d'imagerie.....	13
4. Résultats.....	15
4.1 Comparaison des « after-effets ».....	15
4.2 Données comportementales	15
4.2.1 Effets comportementaux de l'AP.....	15
4.2.2 Effets comportementaux de la position des cibles	15
4.3 Activation pendant l'exécution de la tâche.....	16
4.4 Effet global de l'AP sur les réseaux neuronaux.....	18
4.5 Effet de la position de la cible.....	19
4.5.1 AP gauche	19
4.5.2 AP droite.....	20
5. Discussion	22
6. Bibliographie.....	29

1. Résumé

L'héminégligence est un syndrome complexe fréquemment observé chez des patients ayant eu un accident vasculaire cérébral (AVC) touchant l'hémisphère droit. Ce syndrome implique principalement une difficulté à s'orienter et/ou à répondre aux stimulations situées dans l'espace gauche. Plusieurs types de réhabilitation ont été développés dont l'adaptation prismatique (AP). L'AP implique une série de pointages manuels effectuée par le patient alors qu'il porte des lunettes avec des prismes qui dévient le champ visuel vers la droite (adaptation prismatique (AP) droite) ou la gauche (AP gauche). Cette étude a pour but de mieux comprendre les modifications cérébrales consécutives à une séance d'AP, en particulier la latéralisation hémisphérique de ces modifications.

Une tâche visuo-spatiale de détection de cibles visuelles situées à gauche, au centre ou à droite, a été effectuée par des sujets sains pendant l'acquisition d'images par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Cette tâche a été exécutée une fois avant (première session) et une fois après l'AP (deuxième session), par les 3 groupes de participants: AP gauche (lunettes prismatiques déviant le champ visuel vers la gauche), AP droite (lunettes prismatiques déviant le champ visuel vers la droite) et groupe contrôle (pas de lunettes). Ce travail de master a porté sur l'acquisition et le traitement des données du groupe soumis à l'AP gauche, alors que les autres données ont été acquises et traitées dans une autre étude. Nos analyses ont principalement porté sur la différence (augmentation ou diminution) d'activité entre la première et la deuxième session pour les trois groupes.

Le groupe soumis à l'AP gauche montre une augmentation de l'activité du gyrus angulaire (GA) droit lorsque les cibles se situaient à droite ; en revanche, le groupe soumis à l'AP droite montre une augmentation de l'activité du GA gauche, et ceci d'autant plus que les cibles se situaient à gauche. Aucune augmentation de l'activité du GA n'a été observée pour le groupe contrôle. Ces résultats démontrent que l'augmentation de l'activité du GA suite à une séance d'AP, dépend du côté de déviation des prismes.

Mots clés : héminégligence, adaptation prismatique, lobe pariétal inférieur

2. Introduction

2.1 L'héminégligence

L'héminégligence touche environ 25-30% de tous les individus ayant subi un accident vasculaire cérébral, ce qui correspond à environ 3-5 millions de patients par an dans le monde entier (Corbetta et al., 2005). L'héminégligence est un déficit neurologique complexe qui peut affecter la détection et l'orientation vers un objet, l'attention, la représentation mentale ou le contrôle moteur. Ces déficits concernent le côté du corps ou l'espace controlatéral à la lésion (Pisella et al., 2006; Striener and Danckert, 2010). Chez un patient ayant une lésion hémisphérique droite les objets présents dans l'hémiespace gauche sont typiquement négligés ou difficilement pris en compte. Les patients ont souvent peu ou pas conscience de leurs difficultés (anosognosie) (Pisella et al., 2006). L'héminégligence per se ne correspond pas à un déficit sensoriel, mais un patient peut avoir, en plus de son héminégligence, un déficit purement sensoriel comme une hémianopsie latérale homonyme gauche. En revanche, un patient ne présentant qu'un déficit d'héminégligence n'a pas de déficit sensoriel, il ne prend pas en compte correctement l'espace gauche non pas parce qu'il ne le voit pas, mais parce qu'il ne parvient pas à avoir une orientation intentionnelle de son regard ou de son attention vers l'hémiespace gauche (Thimm et al., 2008). Ces déficits diminuent l'autonomie du patient dans les activités de la vie quotidienne et influencent négativement sa qualité de vie. La présence d'une héminégligence est un des principaux facteurs pour un mauvais pronostic de réhabilitation après un AVC (Rode, 2003). Plus précisément, l'importance du déficit d'attention soutenue, déficit non spatial associé à l'héminégligence, fait partie des prédicteurs de la persistance de ce syndrome.

Dans l'héminégligence, le site de lésion le plus fréquent est le cortex pariétal droit impliquant généralement le GA, le lobule pariétal inférieur, mais également le gyrus temporal supérieur, le gyrus frontal inférieur, le gyrus para-hippocampal (Mort et al., 2003) et le gyrus ventral frontal (Corbetta et al., 2005). La lésion d'une ou de plusieurs de ces aires aboutit à un biais local attentionnel en défaveur de l'espace gauche et une déviation de l'attention vers la droite. Ces effets seraient à la base des déficits observés dans l'héminégligence (Pisella and Mattingley, 2004). Parmi ces régions, le GA a une importance particulière puisqu'il a une valeur prédictive négative de 100% pour les

AVC concernant l'artère cérébrale moyenne : lorsque le GA n'est pas lésé, l'héminégligence n'est pas présente (Mort et al., 2003). Comme les délimitations des régions temporo-pariétales varient selon les auteurs, dans cette étude nous nous baserons sur les résultats de Mort (2003) qui propose que la jonction temporo-pariétale se situe au niveau de la jonction du GA, du gyrus supramarginal (ces deux gyri formant ensemble le lobule pariétal inférieur), et du gyrus temporal supérieur (Figure 1).

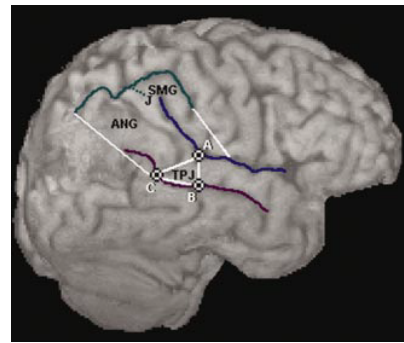


Figure 1: limites de la jonction temporo-pariétale, selon Mort et al., 2003, page 1990. (ANG : gyrus angulaire ; SMG : gyrus supramarginal ; TPJ : jonction temporo-pariétale)

De plus, il faut souligner que lors de l'HN la dysfonction cérébrale est majeure par rapport aux régions centrales endommagées, car les aires cérébrales sont connectées entre elles (Halligan et al., 2003).

Plus de 90% des individus avec une héminégligence ont une lésion hémisphérique droite (Corbetta et al., 2005). Cette prédominance de lésions droites dans l'héminégligence peut être expliquée par la théorie de Kinsbourne (1970), selon laquelle l'hémisphère droit contrôle l'attention spatiale pour les deux hémichamps visuels et serait donc dominant par rapport à l'hémisphère gauche, qui contrôlerait seulement le champ visuel controlatéral (droit) (Saj et al., 2011). Suivant cette conception, le champ visuel gauche ne bénéficierait normalement que des ressources attentionnelles provenant de l'hémisphère droit, qui est lésé chez les patients avec héminégligence (Corbetta et al., 2005).

2.2 Techniques de réhabilitation de l'héminégligence

Une diminution spontanée de l'héminégligence est possible surtout dans la phase aiguë post-AVC (moins de 6 semaines après l'AVC), mais dans plus de 25% des patients héminégligents, les déficits persistent pendant plusieurs années (Serino et al., 2007). Il existe plusieurs méthodes pour la neuro-réhabilitation des patients héminégligents, impliquant soit des techniques dites « top-down » ou « descending approach », modifiant le niveau sensori-moteur par le biais d'un processus cognitif (par exemple indigage, attention soutenue), soit des techniques dites « bottom-up », ou « ascending approach » modifiant premièrement le niveau sensorimoteur (par exemple stimulation sensorielle ou vestibulaire) (Azouvi et al., 2011). Chacune des deux approches a ses limites : dans les

méthodes « top-down » les patients ne peuvent pas être anosognosiques (Frassinetti et al., 2002) et peu d'études témoignent une efficacité (Serino et al., 2007), alors que les méthodes « bottom-up » n'ont pas montré d'efficacité à long terme (Pisella et al., 2006; Rode, 2003).

Une étude de Yves Rossetti publiée en 1998 (Rossetti et al., 1998) a été la première à démontrer que les déficits de l'héminégligence diminuaient après des exercices de pointage effectués lorsque que les patients portent des lunettes prismatiques déviant le champ visuel vers la droite. Le présent travail de recherche se focalise sur les modifications neuronales induites par l'AP chez des sujets normaux.

2.2.1 Adaptation prismatique chez les patients héminégligents

En portant des lunettes prismatiques l'ensemble du champ visuel peut être dévié soit à droite (AP droite) soit à gauche (AP gauche) selon la direction des prismes. Lorsque le

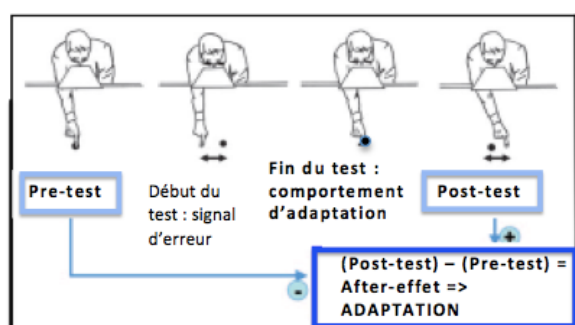


Figure 2: procédure de l'AP, selon Pisella et al. 2006.

participant porte ces lunettes et veut atteindre une cible posée devant lui, il ne l'atteindra pas correctement puisque sa vision est déviée (Figure 2 représentant une AP droite). Cette erreur, qui est du même côté que la déviation des prismes, est corrigée après quelques pointages à travers un processus appelé « strategic

recalibration ». Après quelques minutes, pendant lesquelles le participant a pointé sur des cibles visuelles, le participant enlève ces lunettes et montre un « after-effet » : en essayant d'atteindre une cible, le participant pointe du côté contralatéral par rapport à la direction de la déviation des lunettes (Newport and Schenk, 2012). La succession de ces étapes, qui correspond à une séance d'AP est illustrée dans la Figure 2. En général les lunettes prismatiques déviant le champ visuel vers la droite sont utilisées chez des patients présentant une héminégligence dans l'hémiespace gauche. Cependant, l'AP a aussi montré des effets bénéfiques chez une patiente gauchère ayant une lésion hémisphérique gauche et présentant une héminégligence modérée dans le champ visuel droit, ceci en utilisant des lunettes déviant le champ visuel vers la gauche (Bultitude and Rafal, 2010).

Cette technique suscite un grand intérêt actuellement, non seulement car elle est simple, peu coûteuse et non invasive, mais surtout car elle a un effet positif sur la plupart des symptômes de l'héminégligence. Après quelques minutes d'AP, une amélioration de l'héminégligence peut déjà être démontrée tout de suite, mais cette amélioration augmente deux heures après la fin de l'AP (Frassinetti et al., 2002). Ces effets positifs ont été montrés non seulement sur le plan visuel (Striemer and Danckert, 2010), mais aussi sur le plan sensorimoteur (Pisella et al., 2006) et au niveau de la représentation mentale (Pisella et al., 2006). Dans une étude (Serino et al., 2007) lorsque les patients s'entraînent cinq minutes par jour pendant deux semaines, le bénéfice apporté par l'AP a été mis en évidence six mois après la fin de la réhabilitation. Plusieurs études (Newport and Schenk, 2012; Rossetti et al., 1998) ont montré que l'AP a un bénéfice plus important et des effets positifs plus durables que les effets consécutifs à l'utilisation d'autres techniques, par exemple la stimulation calorique ou optocinétique. Plus généralement, certains auteurs ont proposé que l'AP a un impact sur la cognition spatiale, suggérant une réorganisation centrale (Berberovic et al., 2004; Luauté et al., 2009). La cognition spatiale est la représentation cognitive des entités présentes dans le champ visuel et de leurs relations spatiales (Godard, 2009) ; la cognition spatiale est donc mise en jeu avec des fonctions indépendantes, comme l'attention et la mémoire, et permet de les intégrer dans un système complexe sous-tendant la représentation interne de l'espace extérieur (Halligan et al., 2003; Saj et al., 2011).

Une des hypothèses principales sur les mécanismes sous-jacents aux effets positifs de l'AP suggère que les cartes cérébrales proprioceptives et les cartes cérébrales visuelles sont, dans une situation normale, alignées les unes par rapport aux autres, mais que l'AP les « désalignerait » et induirait une plasticité sensori-motrice à court terme. Chez les patients ayant une lésion hémisphérique droite, suite à l'exécution des mouvements de pointages effectués en portant des lunettes prismatiques, cette plasticité permettrait une réorganisation à long terme de la représentation de l'espace (Luauté et al., 2009; Saj et al., 2011). Les bases cérébrales sous-tendant cette plasticité et cette réorganisation à long terme mis en jeu par l'AP restent encore aujourd'hui mal déterminées. Cette présente étude a pour but de mieux comprendre les modifications cérébrales consécutives à l'AP, et en particulier l'éventuelle latéralisation hémisphérique de ses effets en comparant l'AP droite et l'AP gauche.

Une étude (Pisella and Mattingley, 2004) a proposé qu'un déficit de remappage spatial dû à la perturbation de la fonction du lobe pariétal serait la composante principale sous-jacente aux symptômes de l'héminégligence. Avec le terme « spatial remapping », ou remappage spatial en français, on se réfère à l'intégration de chaque nouvelle image rétinienne avec l'ancienne. Cette mise à jour des représentations spatiales comporte une sélection d'information et un repositionnement de l'information dans la carte visuelle (Bultitude et al., 2012; Pisella and Mattingley, 2004). L'archivage de ces cartes spatiales et leurs modifications ou ajustements impliqueraient les régions pariétales, ainsi que les aires visuelles (Bultitude et al., 2012). Chez les patients héminégligents l'AP droite modifierait l'implication du lobe pariétal gauche dans ces processus de remappage, ce qui permettrait un recalibrage, ou réajustement, permettant de diminuer les déficits d'héminégligence (Bultitude et al., 2012). En comparant les activations modifiées par une séance d'AP droite à celles modifiées par une séance d'AP gauche, notre étude a pour but de mieux comprendre la latéralisation et les bases cérébrales sous-jacentes au phénomène du remappage.

2.2.2 Adaptation prismatique chez les sujets sains

En ce qui concerne l'AP droite, l'étude de Berberovic et al. (2004) soumettant des sujets sains à une séance d'AP droite a montré que, après l'exécution des exercices avec les lunettes prismatiques, le pointage des participants était dévié à gauche. Un plus grand nombre de recherches comportementales sur les sujets sains a été réalisé avec l'AP gauche (Michel, 2006; Michel et al., 2003), dont l'étude comportementale de Michel (2006) a montré que chez des sujets normaux l'AP gauche modifie les performances à des tests neuropsychologiques (par ex. bissection de ligne, tâche de recherche locomotrice), suggérant que l'AP peut avoir un effet même chez le sujet sain. Jusqu'à maintenant aucune étude d'imagerie n'a jamais directement comparé les effets de l'AP droite à ceux de l'AP gauche.

2.3 But de l'étude

Le but de cette étude est de déterminer l'influence de l'AP sur certains réseaux neuronaux en comparant les régions activées dans une tâche de détection visuelle effectuée avant et après une séance d'AP. De plus, afin de déterminer la latéralisation de ces modifications consécutives à une séance d'AP, deux groupes de sujets sains ont effectué une séance d'AP, un groupe utilisant des prismes déviants à droite et un autre

groupe de sujets utilisant des prismes déviants à gauche. Ces groupes ont été comparés à un groupe contrôle effectuant les mêmes expériences sauf qu'ils ne portaient pas de lunettes prismatiques pendant l'AP.

La présente recherche a été effectuée en deux parties. L'acquisition et le traitement des données de la première partie ont été réalisés par Sonia Crottaz-Herbette au sein du Service de Neurorehabilitation du CHUV. Ces précédents travaux ont porté sur le groupe de sujets soumis à une séance d'AP avec des prismes déviant vers la droite chez des sujets sains et sur le groupe contrôle (sans prismes). Cette précédente étude a mis en évidence une augmentation de l'activation pariétale gauche dans une tâche de détection visuelle suite à une séance d'AP droite. L'acquisition et l'analyse des données de la deuxième étude portant sur un groupe de sujets soumis à une séance d'AP avec des prismes déviant vers la gauche, ont été effectuées lors de ce travail de Master. Parallèlement aux résultats obtenus avec les prismes déviant à droite, une augmentation de l'activation de l'hémisphère droit est attendue après une séance d'AP gauche. Cette recherche devait permettre de constater si une différence de latéralisation est présente entre les effets cérébraux consécutifs à une séance d'AP droite et ceux induits par l'AP gauche.

3. Méthode

3.1 Participants

Le groupe soumis à l'AP gauche était composé de 14 sujets droitiers sains (âge moyen= 24.07 ans ; écart-type= 0.74). Un autre groupe de 14 sujets droitiers sains ont subi l'AP droite (âge moyen= 26.00 ans ; écart-type=1.32) et 12 sujets droitiers sains ont fait partie du groupe contrôle (âge moyen= 26.00 : écart-type= 1.48). Tous les participants remplissaient aussi les critères suivants : pas de maladie psychiatrique ou neurologique précédant l'étude, vision correcte ou corrigée (pas d'hémianopsie) et pas de déficits majeurs de comportement ou de compréhension. Enfin les critères standards d'inclusion pour un examen d'IRM ont été respectés: absence de métal dans le corps provenant d'un accident ou d'une intervention chirurgicale, pas de claustrophobie. Après avoir lu le formulaire d'information de l'étude, tous les participants ont donné leur consentement écrit. Cette étude a été approuvée par la commission d'éthique de la faculté de biologie et médecine de l'Université de Lausanne.

3.2 Déroulement de l'expérience

Chaque sujet a été soumis au même protocole impliquant une succession de tests dans l'ordre suivant : 1- une première session d'IRM avec une acquisition d'images anatomiques (données IRM) et d'images fonctionnelles (données IRMf) acquises pendant que les participants effectuent des tâches cognitives, 2- une séance d'AP et 3- une deuxième session d'IRMf avec les mêmes tâches cognitives:



Dans ce travail avec le terme “première session” on se réfère toujours à l’exécution de la tâche de détection visuo-spatiale avant l’entraînement avec l’AP et avec “deuxième session” à la même tâche après l’AP.

Les participants ont dû remplir le « formulaire de sécurité avant un examen IRM », le test de latéralité manuelle (Edinburgh Handedness Inventory) et un premier questionnaire de l'état général de santé avant de commencer l'étude proprement dite. À la fin de l'étude, après la deuxième session d'IRMf, une deuxième série de questions

portant sur l'état actuel de santé des participants a été soumis à ceux-ci afin de vérifier la présence éventuelle d'effets secondaires dus à l'IRM.

3.3 Adaptation prismatique

Dans ce présent travail, les sujets du groupe AP gauche ont été soumis à une session d'AP, pendant laquelle ils ont porté des lunettes (www.optiquepeter.com) qui déviaient leur champ visuel de 10° à gauche. Pendant l'AP les participants étaient assis devant un bureau ; le menton appuyé à une hauteur confortable sur une petite tablette, de façon à ce que la tête bouge le moins possible pour ne pas modifier la déviation des lunettes. Ils effectuaient pendant 3 minutes des mouvements de pointage avec l'index de leur main droite vers des cibles visuelles noires d'environ un centimètre de diamètre, situées sur un plateau blanc posé sur un bureau, environ à la hauteur des coudes. Les cibles étaient localisées à 16° à gauche et à 16° à droite de la ligne médiane. Les participants ne voyaient pas le point de départ de leur main, mais seulement le dernier tiers de leur mouvement, cela pour éviter une correction lente du mouvement. La direction des mouvements était donnée par ordre verbal énoncé par l'examineur (aléatoirement « à droite » ou « à gauche »). Le mouvement devait être le plus rapide possible pour éviter une correction basée sur un rétrocontrôle proprioceptif. Après chaque pointage la main revenait au point de départ (sur la ligne médiane, sous la petite tablette où le menton était appuyé). Même si l'index n'arrivait pas à atteindre la cible noire, la main du sujet devait revenir au point de départ sous le menton, sans pouvoir faire directement (c'est à dire durant ce pointage) un mouvement de correction ; le participant pouvait corriger le mouvement seulement lors du pointage suivant.

Après 3 minutes de pointages, pour un total d'environ 150 mouvements, l'efficacité de l'adaptation aux prismes était testée en évaluant s'il y avait une déviation lorsque les sujets pointaient avec les yeux fermés vers les cibles visuelles, sans les lunettes. Cet « after-effet » proprioceptif était mesuré en millimètres ; il consistait en la distance entre la position de l'index et la cible droite ou celle gauche. Si le résultat n'était pas satisfaisant, c'est-à-dire si l' « after-effet » n'était pas présent ou trop petit (< 5 mm), l'exercice de pointage était répété encore pendant 1 minute, et l'adaptation devait encore être vérifiée.

Ces résultats ont été comparés avec ceux récoltés par Sonia Crottaz-Herbette, d'une part chez un autre groupe de sujets normaux ayant été soumis au même protocole expérimental sauf que les prismes déviaient le champ visuel vers la droite, et d'autre part chez un deuxième groupe, le groupe contrôle, ayant effectué la même tâche de pointage mais sans lunettes prismatiques.

3.4 Tâches comportementales

Chaque participant a été soumis à trois tâches : une tâche de détection visuo-spatiale, une tâche de mémoire à court terme spatiale et une tâche de mémoire à court terme verbale. Ce présent travail a porté sur l'analyse des effets de l'AP sur la tâche de détection visuo-spatiale. Lors d'analyses préliminaires, cette tâche s'est en effet avérée être la plus sensible à l'effet de l'AP.

Dans la tâche de détection visuo-spatiale les participants ont dû détecter des cibles visuelles présentées au hasard dans 3 positions différentes: au centre de l'écran, à 15° à gauche ou à droite. Chaque cible était une large étoile blanche, présentée pendant 300 millisecondes sur un écran avec fond noir. Toutes les localisations étaient alignées horizontalement. Les cibles étaient présentées dans les trois positions avec le même pourcentage (33% dans chaque position). La tâche durait 6 minutes et 44 secondes. Les participants répondaient le plus rapidement possible en appuyant sur le bouton-réponse chaque fois qu'ils détectaient une cible. Le temps de réaction, ainsi que l'exactitude de chaque réponse ont été enregistrés pour chaque sujet, avant et après l'AP.

3.5 Acquisitions et prétraitement de l'IRM et de l'IRMf

Pendant les acquisitions IRMf, chaque participant a effectué les trois tâches. L'ordre des tâches a été contrebalancé entre les participants et a été le même lors des deux sessions (sauf pour un participant, dû à un erreur). En revanche, l'ordre des cibles au sein de chaque séquence était différent entre les deux sessions. Les participants s'entraînaient avant l'acquisition IRMf, pour se familiariser avec la tâche et pour maintenir un regard fixe. Chaque participant répondait avec un seul bouton-réponse dès que la cible était perçue. Les réponses étaient envoyées à un ordinateur utilisant le programme E-Prime (Psychology Software Tools, Inc.).

L'acquisition des images de l'IRM et de l'IRMf a été faite avec un scanner 3T Siemens Magnetom Trio dans le centre lémanique d'imagerie biomédicale (CIBM) au CHUV, Lausanne. Pour chaque participant une acquisition anatomique (IRM) a été effectuée en utilisant une acquisition à haute résolution T1 en 3D avec gradient echo (160 coupes ; dimension voxel = 1 x 1 x 1 mm). Les données fonctionnelles ont été acquises en utilisant une séquence avec gradient echo couvrant l'ensemble du cerveau (32 coupes ; dimensions voxel = 3 x 3 x 3 mm ; temps de répétition 2 secondes ; angle de bascule = 90° ; temps echo = 30 ms) et utilisant le contraste BOLD (blood oxygen level dependent). Le concept BOLD se base sur la consommation d'oxygène. Comme lors d'une activité l'approvisionnement en oxygène dépasse les besoins réels, il y a une diminution locale de la concentration veineuse de désoxyhémoglobine ; l'activité paramagnétique de cette dernière constitue le signal BOLD (Houdé et al., 2010).

3.6 Analyses statistiques des données comportementales

Les données comportementales (temps de réaction et nombre de réponses correctes) récoltées lors de la tâche de détection visuo-spatiale ont été analysées pour chaque position des cibles. Les données comportementales ont été analysées à l'aide du programme « Statistical Package for the Social Sciences » (SPSS). Deux analyses de variance (ANOVA) avec mesures répétées ont été effectuées. La première ANOVA a porté sur les moyennes des 3 positions des cibles, et a analysé l'effet du facteur groupe (3 niveaux, AP gauche, AP droite et groupe contrôle) et du facteur session (2 niveaux, première et deuxième session) pour le temps de réaction et l'exactitude des réponses. La deuxième ANOVA a comparé pour chaque groupe séparément le facteur position (3 niveaux, cibles à gauche, au centre, à droite) avec le facteur session (2 niveaux). Les résultats des p-valeurs et des valeurs des F ont été reportés dans les résultats ; un effet est dit significatif si la p-valeur est inférieure à 0.05.

3.7 Traitement et analyse des données d'imagerie

Pour obtenir des cartes d'activation pour chaque individu et pour l'ensemble du groupe, nous avons utilisé le logiciel « Statistical Parametric Mapping » (SPM8, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Londres). Une transformation avec 6 paramètres a été utilisée pour réaligner spatialement les acquisitions fonctionnelles dès la première analyse. Ces acquisitions fonctionnelles réalignées ont été ensuite co-réregistrées avec

l'image anatomique du participant anatomique, puis normalisées au modèle « Montreal Neurological Institute » (MNI) à l'aide d'une transformation affine de douze paramètres. Enfin, elles ont été redimensionnées pour obtenir des voxels de 2 x 2 x 2 mm.

En observant pour chaque groupe séparément, la différence de l'activation entre les deux sessions, on est confronté à l'effet global des prismes, toute position de la cible confondue. Les effets de l'AP ont été montrés pour les groupes AP droite et gauche avec la différence entre les sessions (Δ_{2-1}). Le fait d'effectuer nos analyses sur la différence entre les sessions sur la différence entre les deux sessions permet d'éliminer l'éventuelle différence de l'activité de base, et de montrer ainsi seulement l'effet dû à l'AP (voir chapitre « discussion »). Nous avons également effectué cette soustraction (Δ_{2-1}) pour le groupe contrôle.

4. Résultats

4.1 Comparaison des « after-effets »

Pour la cible positionnée à droite sur la table, lors de l'AP gauche la moyenne de l'«after-effet » est de 58.6 mm, avec un écart-type de 6.37 mm, alors que pour la cible à gauche la moyenne de l'«after-effet» est de 51.1 mm, avec un écart-type de 6.37 mm.

4.2 Données comportementales

La moyenne pour l'exactitude des réponses et les temps de réaction sont reportés pour chacun des trois groupes et pour chaque position de la cible dans les figures 3 et 4 (moyenne \pm erreur standard). Les premières analyses portent sur les facteurs groupe et session ; pour cette partie nous avons moyenné les résultats pour les trois positions des cibles (cibles à gauche, au centre, et à droite), alors que pour la deuxième partie nous avons comparé pour chaque groupe séparément les résultats pour les cibles à gauche, au centre et à droite.

4.2.1 Effets comportementaux de l'AP

L'ANOVA pour l'exactitude des réponses incluant les facteurs groupe (groupe AP gauche, groupe AP droite versus groupe contrôle) et session (session 1 versus session 2) a confirmé qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes ($F= 0.29$; $p\text{-value}= 0.75$) ni entre les sessions ($F< 0.001$; $p\text{-value}= 0.99$). L'interaction entre ces deux facteurs n'est pas significative ($F= 1.50$; $p\text{-value}= 0.24$). En ce qui concerne les temps de réaction, l'ANOVA n'a pas relevé de différence significative entre les groupes ($F= 1.11$; $p\text{-value}= 0.34$) et l'interaction entre les facteurs groupe et session est également non significative ($F= 1.11$; $p\text{-value}= 0.34$). En revanche, la différence parmi les sessions est significative ($F= 7.47$; $p\text{-value}= 0.01$). Les temps de réaction sont toujours plus longs dans la session 2 par rapport à la session 1.

4.2.2 Effets comportementaux de la position des cibles

Pour analyser l'effet de la position de la cible, des ANOVA avec mesures répétées ont été réalisées pour chaque groupe séparément prenant en compte les facteurs position de la cible (gauche versus centre versus droite) et session (session 1 versus session 2). Pour les groupes AP droite et AP gauche, aucun effet significatif n'a été observé. En revanche, pour le groupe contrôle ces analyses montrent des effets significatifs des temps

de réaction selon la position de la cible ($F= 8.33$; $p\text{-value}= 0.01$) et du facteur session ($F= 11.89$; $p\text{-value}= 0.01$), mais l'interaction entre ces deux facteurs n'est pas significative ($F= 0.75$; $p\text{-value}= 0.44$). Les temps de réaction moyens pour le groupe contrôle ont été plus longs pour les cibles situées à gauche, par rapport aux cibles droites et centrales ; cela au cours des deux sessions, et globalement les temps de réaction sont plus courts lors de la première session que lors de la deuxième session.

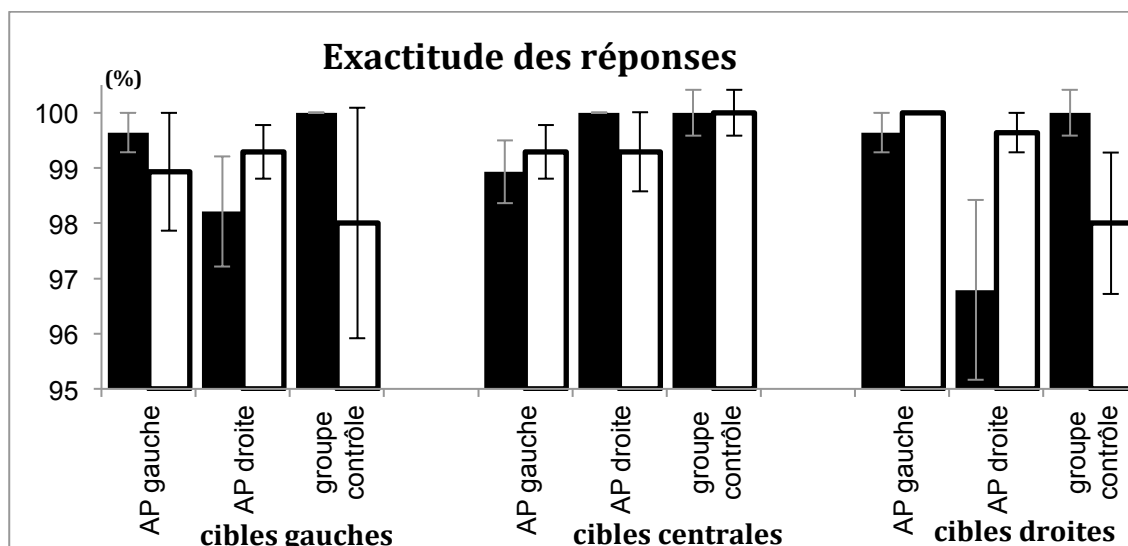


Figure 3 : Moyenne \pm erreur standard de l'exactitude des réponses lors de la première session (noir) et la deuxième session (blanc) pour chaque groupe et pour chaque position de la cible.

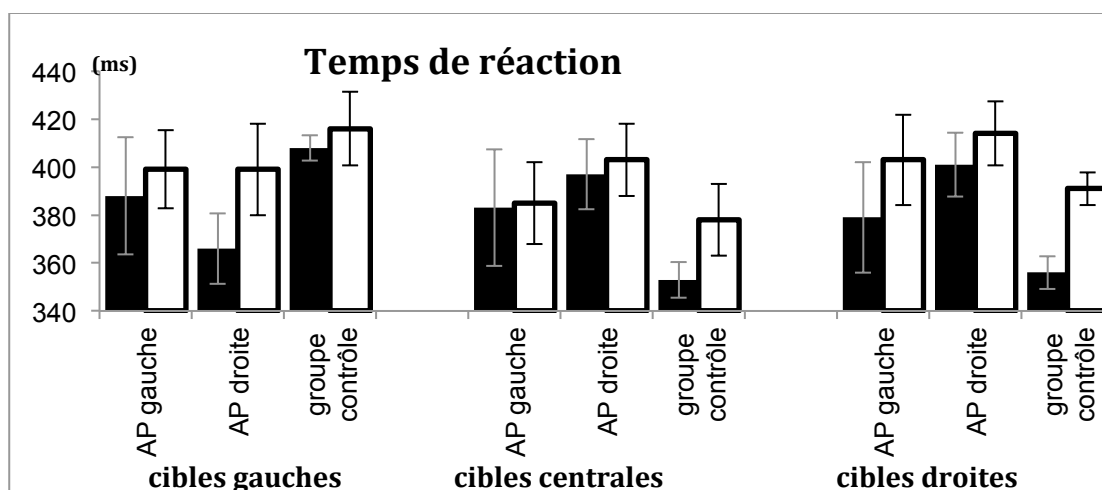


Figure 4 : Moyenne \pm erreur standard des temps de réaction lors de la première session (noir) et la deuxième session (blanc) pour chaque groupe et pour chaque position de la cible.

4.3 Activation pendant l'exécution de la tâche

Dans un premier temps, il a été nécessaire de déterminer quelles zones étaient activées lors de la tâche de détection visuo-spatiale en dehors de toutes AP. Les activations observées lors de la première session ne montrant pas de différence entre les trois groupes, nous avons choisi de présenter les résultats du groupe soumis à l'AP droite.

Lorsque la cible est à gauche il y a une augmentation de l'activité cérébrale dans les régions suivantes : gyrus occipital inférieur droit, gyrus frontal moyen et inférieur droit et jonction temporo-pariétale droite (Figure 5a). Lorsque la cible est au centre on retrouve à nouveau une augmentation de l'activité du gyrus occipital inférieur, mais cette fois bilatéral. On observe également une activité des régions suivantes : gyrus frontal inférieur gauche, lobule pariétal inférieur gauche, gyrus temporal moyen et inférieur droit et gyrus temporal supérieur et inférieur gauche (Figure 5b). Lorsque la cible est à droite on observe une augmentation de l'activité du gyrus occipital bilatéralement, du gyrus post-central gauche, du lobule pariétal inférieur gauche et du gyrus temporal supérieur gauche (Figure 5c). En conclusion, on retrouve une activité majoritairement contralatérale à la position de la cible pour les cibles à droite et à gauche, et bilatérale lorsque la cible est présentée au centre. Il faut souligner qu'aucune activation n'est observée dans le GA dans ces analyses.

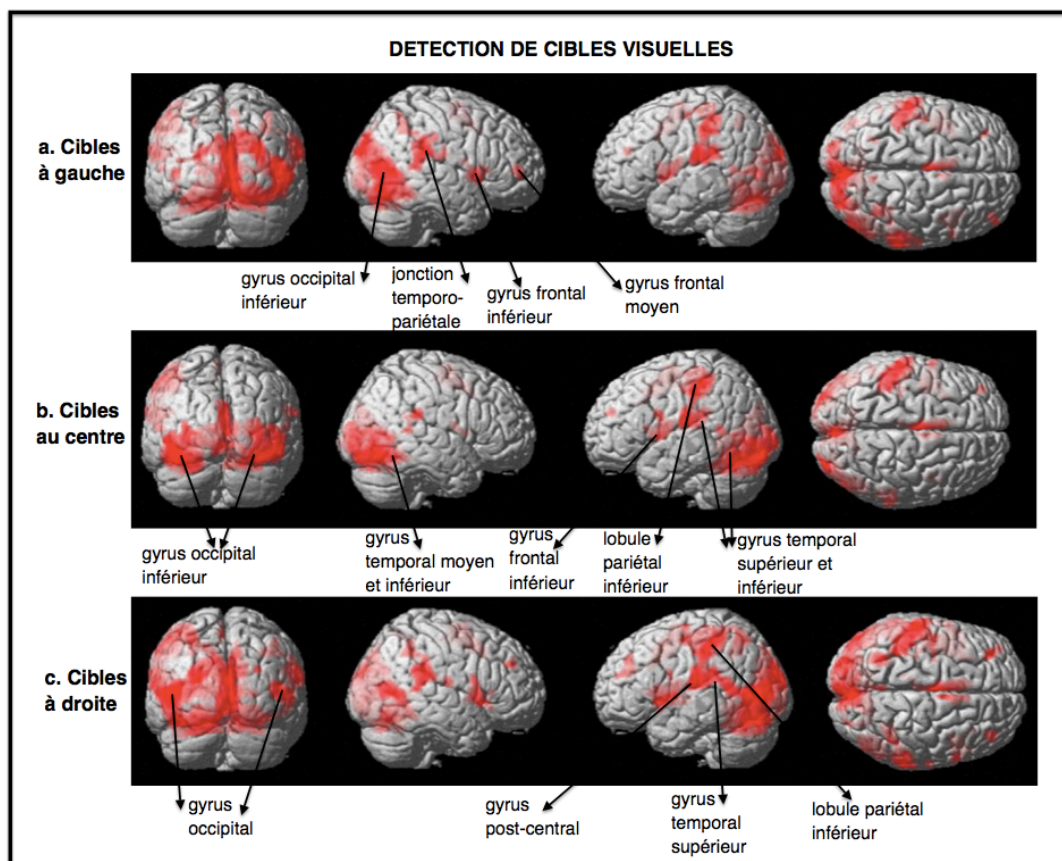


Figure 5: activation lors de la première session de l'ensemble des cibles présentées à gauche (a), au centre (b) et à droite (c), p-value 0.001

4.4 Effet global de l'AP sur les réseaux neuronaux

Lors de ces analyses nous avons utilisé la différence entre les deux sessions (« session 2 minus session 1 », Δ_{2-1}) afin de mettre en évidence les modulations (augmentation ou diminution) des activités cérébrales. Lors de la comparaison Δ_{2-1} portant sur la moyenne entre les trois positions des cibles, l'AP gauche n'a pas d'effet significatif (Figure 6a). En revanche, l'AP droite a un effet global dans la région pariétale gauche au niveau du GA, du gyrus supramarginal et du gyrus temporal supérieur gauche; une activité du gyrus frontal inférieur est aussi présente bilatéralement (Figure 6b). Le groupe contrôle montre une augmentation de l'activité principalement dans le gyrus supramarginal droit, le gyrus temporal supérieur droit et le gyrus occipital inférieur et moyen gauche (Figure 6c). La figure 6 montre l'effet global des prismes, mais comme on s'attend à un effet différent des prismes en fonction de la position de la cible, les résultats les plus importants sont présentés dans les figures 8, 9 et 10.

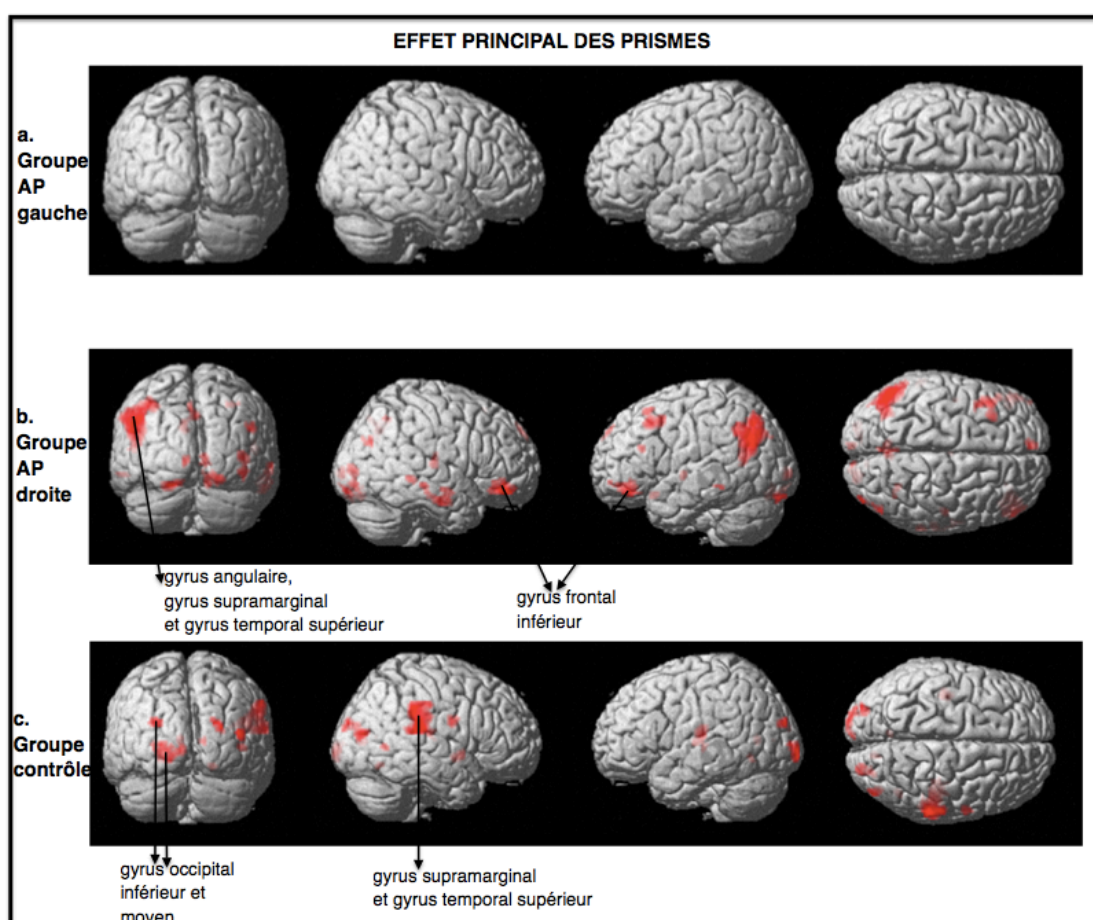


Figure 6 : activation Δ_{2-1} pour les sujets soumis à l'AP gauche (a), AP droite (b) et le groupe contrôle (c), p-value 0.05

4.5 Effet de la position de la cible

Nous avons analysé l'effet de la position de la cible en confrontant d'une part le groupe soumis à l'AP gauche au groupe contrôle et d'autre part le groupe soumis à l'AP droite au groupe contrôle ; pour chaque comparaison nous avons séparé les effets des cibles gauches, centrales et droites.

4.5.1 AP gauche

Lorsque les cibles se trouvent à gauche le groupe AP gauche ne montre pas d'activité Δ_{2-1} significative alors que pour le groupe contrôle on observe une augmentation de l'activité pariéto-temporale droite au niveau du gyrus supramarginal, du gyrus temporal supérieur et des gyri pré- et post-centraux. Le gyrus occipital présente une augmentation bilatérale de l'activité (Figure 7a). Pour les cibles centrales, l'AP gauche induit une augmentation de l'activité dans le gyrus occipital moyen bilatéral, alors que pour le groupe contrôle on observe une augmentation de l'activité bilatérale du gyrus occipital inférieur, du cortex pariétal postérieur droit et du gyrus frontal moyen droit (Figure 7b). Lorsque les cibles sont à droite l'effet de l'AP gauche est maximal comparé aux autres positions de cibles, avec une augmentation de l'activité au niveau du GA droit. Pour les cibles à droite, le groupe contrôle montre une augmentation de l'activité au niveau des régions pariéto-temporales droites, mais plus antérieurement, au niveau du gyrus supramarginal, des gyri temporaux supérieur et moyen et du gyrus précentral (Figure 7c).

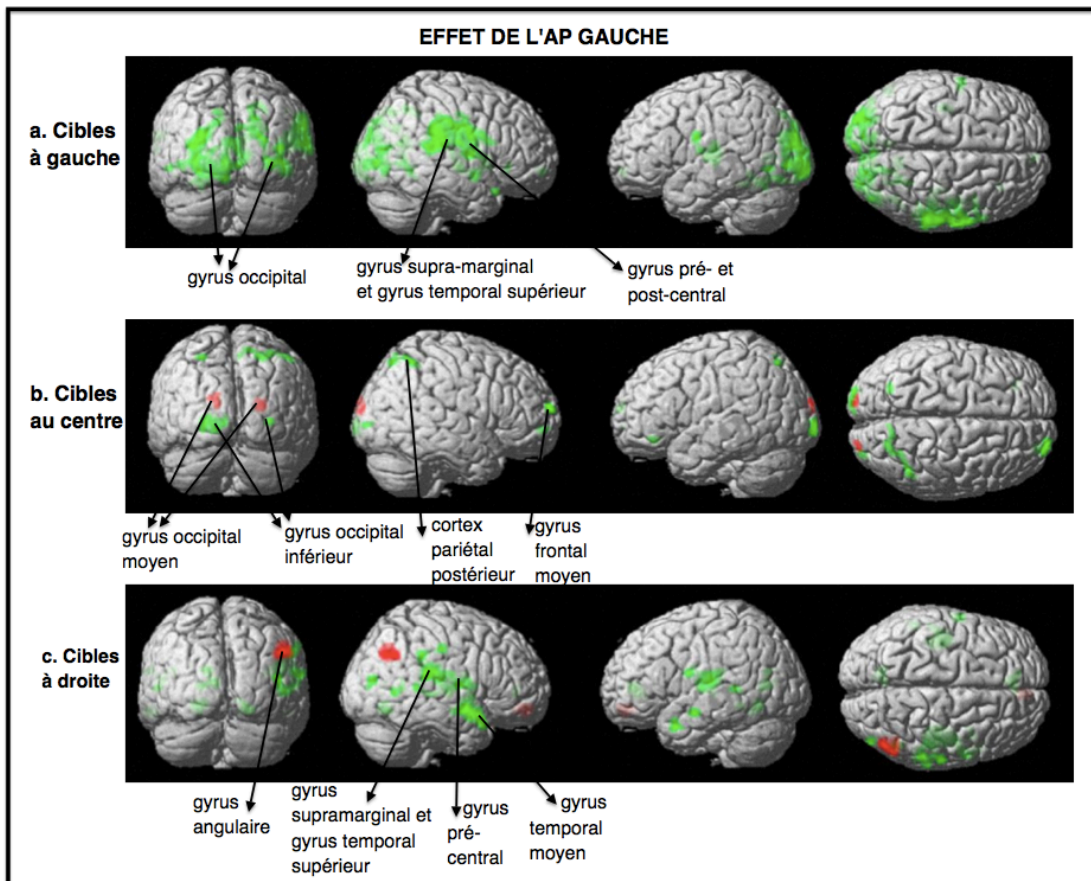


Figure 7 : activation Δ_{2-1} pour les sujets soumis à l'AP gauche (rouge) versus groupe contrôle (vert) lorsque la cible est à gauche (a), au centre (b) et à droite (c), p-value 0.05

4.5.2 AP droite

Alors qu'après une séance d'AP gauche l'augmentation était maximale lorsque les cibles étaient à droite, ce sont les cibles présentées à gauche qui, après une séance d'AP droite, entraînent une augmentation maximale de l'activité (Figure 7c et 8a). Cette augmentation suite à l'AP droite pour les cibles gauches se situe principalement au niveau des régions pariétales gauches, plus précisément au sein du GA. Les gyri frontaux inférieurs gauche et droit, et le gyrus frontal moyen gauche montrent aussi une augmentation de l'activité après une séance d'AP droite (Figure 8a). Après une telle session d'AP droite, lorsque les cibles sont centrales, le GA gauche et les gyri frontaux inférieurs gauche et droit montrent une augmentation de l'activité (Figure 8b). Pour les cibles droites, le groupe soumis à l'AP droite montre uniquement une augmentation de l'activité du GA gauche et du gyrus frontal inférieur droit (Figure 8c).

Pour les sujets soumis à l'AP droite on voit donc une réduction progressive de l'augmentation de l'activité du GA gauche lorsque les cibles sont à gauche, au centre et à

droite. Les augmentations des activités cérébrales du groupe contrôle ont été présentées lors de la dernière comparaison.

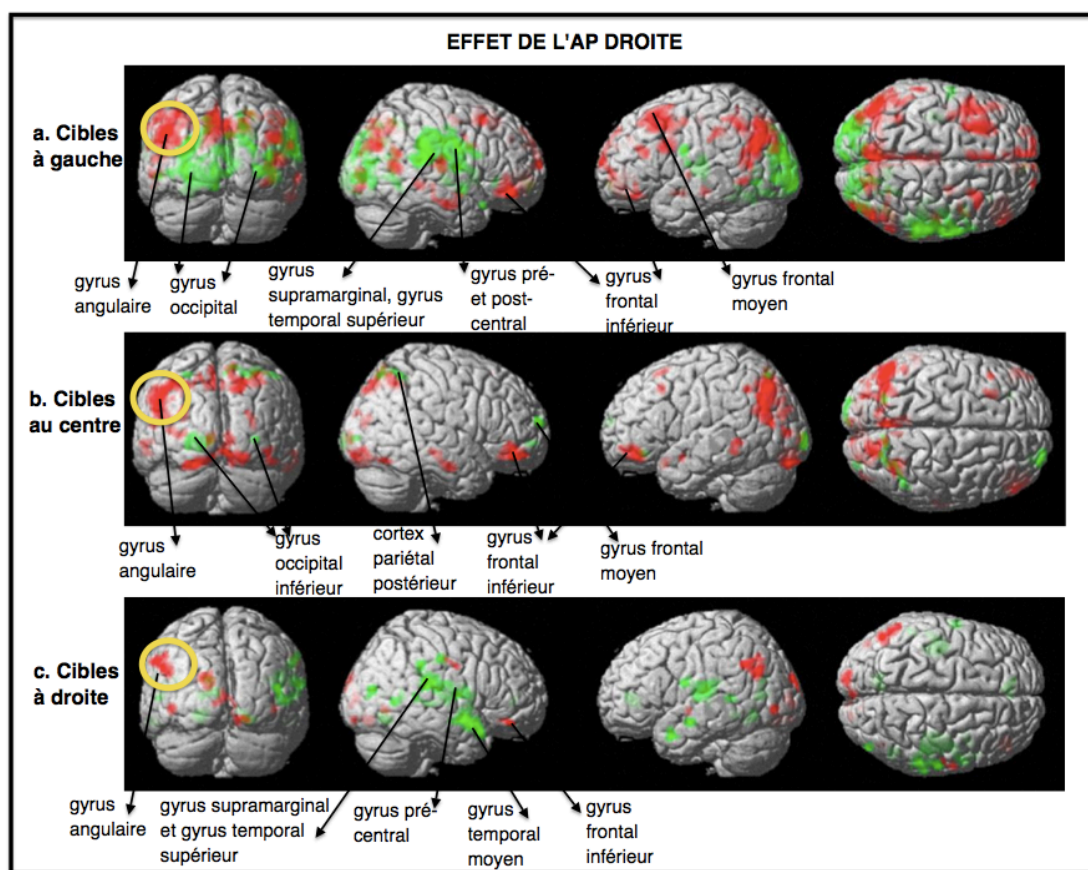


Figure 8 : activation $\Delta_{2,1}$ pour les sujets soumis à l'AP droite (rouge) versus groupe contrôle (vert) lorsque la cible est à gauche (a), au centre (b) et à droite (c), p-value 0.05

Il est important de relever que les régions pariétales droites, dont l'activité augmente après l'AP gauche pour les cibles à droites, sont homologues aux régions pariétales gauches augmentant leur activation après une séance d'AP droite lorsque les cibles sont à gauche, comme illustré dans la figure 9. Ces analyses montrent que l'augmentation de l'activité cérébrales après une séance d'AP varie directement selon la position de la cible (effet ipsilatéral) et selon le côté de déviation des prismes.

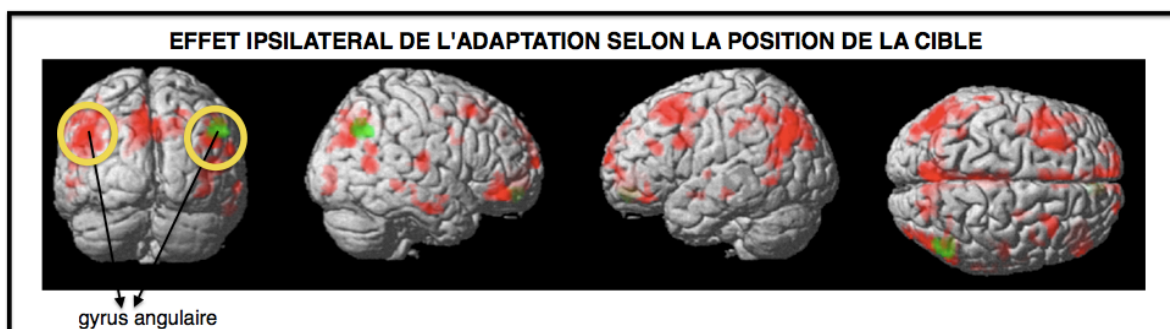


Figure 9 : activation $\Delta_{2,1}$ lorsque la cible est à droite pour les sujets soumis à l'AP gauche (rouge) versus cible à gauche pour les sujets soumis l'AP droite (vert), p-value 0.05

5. Discussion

Cette recherche a comme objectif de déterminer les mécanismes cérébraux par lesquels l'AP entraîne une diminution des difficultés dans l'héminégligence. En comparant les augmentations des activités cérébrales d'un groupe de sujets sains soumis à une AP gauche, avec celles d'un groupe de sujets sains à l'AP droite, nous avons pu mettre en évidence le rôle majeur des régions pariétales dans l'AP. Nos résultats principaux montrent que l'AP gauche entraîne une augmentation de l'activité dans le GA droit. En revanche, l'AP droite entraîne une activité plus importante dans le GA gauche, et ceci d'autant plus que les cibles se trouvent à gauche. Cette étude montre non seulement que l'activité des régions pariétales droite et gauche sont modulées par une courte exposition à l'AP, mais également que cette modulation diffère lorsque l'AP se fait avec des prismes déviant le champ visuel vers la droite ou vers la gauche. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension du rôle du cortex pariétal dans l'AP, de la nature des représentations spatiales dans cette région et de son rôle dans l'héminégligence.

En ce qui concerne les résultats comportementaux, nous n'avons pas relevé d'effets significatifs de l'AP pour l'exactitude des réponses. Ceci est probablement dû au fait que la tâche de détection étant extrêmement facile, les sujets ont montré des performances avoisinantes le 100% de réponses correctes dès la première session, c'est-à-dire avant l'AP. Dans une étude (Berberovic et al., 2004) portant sur le jugement spatial après AP, les auteurs ont montré que les performances des sujets sains n'étaient pas modifiées par l'AP, alors que les patients héminégligents ont montré des améliorations après l'AP. Dans notre étude, lors de la deuxième session, on aurait pu s'attendre à une diminution du temps de réaction pour détecter les cibles présentées dans le champ visuel controlatéral à la déviation de l'AP, où la cognition spatiale serait « renforcée » par l'AP. Cependant, lors de la deuxième session le temps de réaction moyen a augmenté pour chaque groupe, et ceci quelque soit la position de la cible. Nous estimons que ceci est probablement une conséquence de la fatigue, et contrebalancerait tout effet positif qui proviendrait de l'AP.

Les différences des activités cérébrales entre les deux sessions que nous reportons ici peuvent provenir de l'AP elle-même, mais également du fait que les sujets effectuent deux fois les mêmes tâches (effet de répétition, d'apprentissage ou de test-retest). Il est donc important de pouvoir distinguer les effets dus à l'AP de ceux dus à l'apprentissage.

Dans ce but nous avons utilisé un groupe contrôle pour lequel le protocole de l'étude était analogue à celui effectué par les groupes AP gauche et AP droite (mêmes tâches effectuées lors des acquisitions IRM, mêmes mouvements effectués lors de l'adaptation) à l'exception des lunettes lors de l'adaptation, que le groupe contrôle n'a pas dû porter. Grâce à ce groupe contrôle, nous nous sommes assurés que les modifications des activations cérébrales observées après l'AP chez les sujets soumis à l'AP gauche ou droite sont dues à l'AP en soi, et non pas à un effet d'apprentissage.

La comparaison des augmentations des activités lors de la deuxième session pour le groupe AP gauche et pour le groupe AP droite montre des effets similaires dans les régions pariétales homologues à gauche et à droite confirmant non seulement l'influence de l'AP dans ces régions, mais également l'importance du côté de la déviation prismatique. Le rôle du cortex pariétal dans l'AP a été démontré dans plusieurs études utilisant des tâches de pointage visuo-spatial pendant l'AP. Dans une étude pendant laquelle les sujets ont été soumis à une déviation prismatique gauche et droite en alternance (Clower et al., 1996), l'exposition à l'AP a montré une augmentation de l'activité cérébrale au niveau du sillon intrapariétal controlatéral à la main qui pointait au cours de l'expérience ; ceci suggère que cette région revêt un rôle dans l'alignement des représentation visuelles et proprioceptives de la position des mains. Une étude plus récente (Danckert et al., 2008), soumettant à des sujets sains l'AP droite, a observé une augmentation de l'activité entre autres dans la zone motrice primaire gauche et la partie antérieure du cortex intrapariétal gauche. Ceci a été interprété dans le contexte d'un recalibrage des commandes visuo-motrices. Luauté et al. (2009) ont identifié des régions pariétales intervenant dans la détection des erreurs (sillon intrapariétal droit et gauche), ainsi que des régions qui joueraient un rôle dans la compensation de la déviation prismatique (sillon et gyri temporal supérieur droit et gauche). En analysant les activations cérébrales lors des essais de pointage au début et à la fin de l'AP, une étude (Chapman et al., 2010) a identifié autres régions impliquées dans la correction de l'erreur (cervelet droit et gauche, lobule pariétal supérieur droit et lobule pariétal inférieur droit), ainsi que des régions ayant un rôle dans le réalignement spatial (cervelet droit et gauche, partie antérieure du lobule pariétal inférieur droit). Au cours des essais de pointage pendant l'AP, le cervelet droit, le GA droit et la partie antérieure du lobule pariétal inférieur droit ont montré une augmentation de l'activité. Ceci a été démontré dans une récente étude (Mutha et al., 2011), qui a étudié le comportement lors d'une tâche visuelle chez des patients ayant une lésion pariétale droite ou gauche. L'adaptation a été évaluée

en termes de correction du mouvement de la main et selon l'after-effet. Les patients avec une lésion pariétale droite ont montré une adaptation visuo-spatiale et un after-effet similaire aux sujets sains, alors que les patients avec une lésion pariétale gauche présentaient des déficits d'adaptation et l'absence d'un after-effet. Cette constatation suggère que la région pariétale gauche est cruciale pour la reconfiguration des représentations spatiales lors d'une lésion pariétale droite.

Ces cinq études démontrent l'importance du sillon intrapariétal dans la transformation des coordonnées visuo-moteur. Notre recherche confirme non seulement que l'AP module l'activité du cortex pariétal, mais également que cette modulation varie selon la position du stimulus et le côté de déviation des prismes, suggérant ainsi un effet sur les représentations spatiales visuelles impliquant les régions pariétales.

Des études récentes (Silver and Kastner, 2009) ont montré l'existence de différentes représentations d'espaces visuels au sein du cortex pariétal postérieur. Le lien entre la cartographie retinotopique et des tâches cognitives (par ex. attention spatiale, mémoire de travail, planification et exécution des mouvements saccadés) a permis de situer sept représentations de l'hémi-champ visuel controlatéral dans le sillon intrapariétal et la partie adjacente du lobule pariétal supérieur. Etant donné que l'AP, en perturbant la perception de l'espace visuel, induit un recalibrage des cartes visuelles, notre étude permet de mieux comprendre le lien entre la représentation d'espaces visuels et la cartographie retinotopique. En effet, Bultitude et al. (2012) ont proposé que l'AP entraîne un recalibrage d'une de ces cartes spatiales, ou même de l'ensemble de ces cartes. Ce recalibrage est défini comme un processus par lequel des signaux moteurs et visuels interagissent avec des fonctions cognitives pour construire une représentation interne de l'environnement visuel. Cette représentation est constamment mise à jour et, en étant spatialement stable, permet d'obtenir des images fixes même en ayant les yeux constamment en mouvement (Pisella et al., 2011).

Plusieurs études effectuées principalement sur le macaque ont mis en évidence non seulement la fonction de la région pariétale dans le recalibrage, mais également le rôle de l'hémisphère ipsilatéral aux cibles visuelles dans le traitement de celles-ci. Ces études sont tout à fait pertinentes dans le domaine de l'AP puisque d'une part l'AP induit un recalibrage des cartes spatiales et d'autre part le lobule pariétal inférieur du macaque montre des nombreuses similarités avec le cortex pariétal postérieur de l'humain (par ex. plusieurs aires du sulcus intrapariétal sont dans la même position dans les deux espèces).

Concernant le rôle de la région pariétale dans le recalibrage spatial, des études sur le macaque (Berman and Colby, 2009; Merriam et al., 2003) ont utilisé des tâches des double saccades (voir ci-dessous) ayant permis par exemple de mettre en évidence que plus de la moitié des neurones du lobule pariétal inférieur du macaque participent au processus du recalibrage spatial. En effet, lorsque la fixation d'une cible visuelle est suivie d'une saccade oculaire vers un point brièvement apparu, deux tiers des neurones de cette région pariétale déchargent avant le début du mouvement oculaire. Cette décharge permet d'anticiper les conséquences oculaires dues à la saccade et de mettre à jour la représentation interne de la localisation de la cible. L'AP et la tâche des doubles saccades sont les deux des tâches visuo-spatiales induisant une perturbation de la perception de l'espace visuel ; il y a donc dans les deux cas une anticipation et un recalibrage du biais visuel. Lors de la tâche des doubles saccades cette perturbation termine rapidement, alors que dans l'AP perdure.

La tâche des doubles saccades consiste au départ en un point de fixation central ; deux points (T1 et T2) vont ensuite apparaître brièvement, l'un après l'autre, et disparaître avant que la première saccade vers le point T1 ne soit accomplie. Le mouvement oculaire se dirige d'abord vers la position où T1 était apparu, pour poursuivre son orientation vers la localisation de T2, avant de revenir au point de fixation initial (Figure 10). Les patients hémipariétaux montrent un déficit dans l'exécution de cette tâche lorsque la saccade balaie de gauche (T1) à droite (T2); ce phénomène est appelé « négligence paradoxale »

(Pisella and Mattingley, 2004). Ceci est dû à au fait que le remappage a lieu dans l'hémisphère

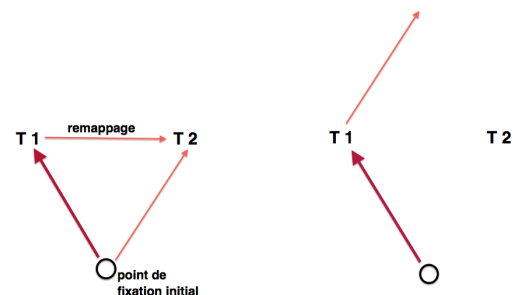


Figure 10: tâche des doubles saccades d'après Buitrago, Van der Stigchel, and Nijboer 2012, page 3.

ipsilatéral à la position de la cible (Heiser and Colby, 2006). Lorsque la saccade est dirigée de gauche (T1) à droite (T2), pour intégrer dans la « mappe saillante » la localisation de la cible à gauche, l'information visuelle se dirige initialement dans le cortex visuel et extrastrée contralatéral (gauche), pour ensuite être transférée dans l'hémisphère opposé (droit). Comme l'hémisphère droit est lésé, il ne peut pas terminer le processus du remappage correctement (Heiser and Colby, 2006). Au contraire, lors d'une saccade de droite (T1) à gauche (T2), la cible à gauche contralésionnelle pourra être remappée correctement car le cortex pariétal gauche est fonctionnel (Heiser and Colby, 2006).

Les études effectuées sur le macaque ont permis de mieux cerner le rôle de l'hémisphère ipsilatéral aux cibles visuelles dans le traitement de l'emplacement de celles-ci. Plusieurs études (Bays and Husain, 2007; Berman and Colby, 2009; Merriam et al., 2003) ont montré que pour le macaque, la cible induit dans un premier temps une augmentation de l'activité dans l'hémisphère contralatéral (au niveau du cortex visuel et du lobe pariétal), puis l'information passe, via des connections corticales et sous-corticales, dans l'hémisphère opposé, dans les régions homologues (lobe pariétal ipsilatéral à la localisation de la cible).

Dans notre étude, après une séance d'AP, l'augmentation de l'activité a été observée principalement dans l'hémisphère ipsilatéral à la cible (Figure 11), mais cet effet n'est pas similaire pour toutes les positions des cibles visuelles. En effet, nous avons montré qu'il n'y avait pas d'effet significatif des activations après l'AP gauche lorsque les positions des trois cibles sont moyennées ensemble. En revanche, l'AP gauche a un effet significatif différent pour chaque position de la cible lorsque les activations consécutives à la détection des cibles visuelles sont analysées séparément. En ce qui concerne l'AP droite, nous avons observé une augmentation de l'activité lorsque les trois cibles sont groupées, mais il est d'autant plus fort lorsque les cibles sont positionnées vers la gauche. Le fait que les effets des AP gauche et droite varient en fonction de la

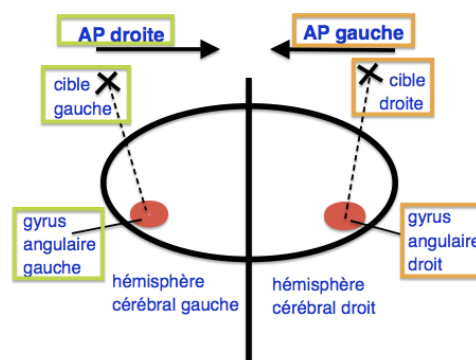


Figure 11.

position des cibles visuelles à détecter révèle que l'effet de l'AP n'est pas le même dans tout l'espace ; l'augmentation de l'activité est effectivement plus importante pour les cibles contralatérales au côté de la déviation des prismes (par ex. pour les cibles situées à gauche pour une AP droite). Nous retrouvons ainsi un résultat parallèle pour l'AP gauche et l'AP droite, avec une augmentation de l'activité du GA contralatéral à la déviation des prismes qui est d'autant plus importante lorsque les cibles se situent aussi du côté contralatéral à la déviation des prismes (Figure 11).

Dans nos résultats, mais également dans d'autres études (Luauté et al., 2009; Pisella et al., 2006; Saj et al., 2011) l'AP est responsable non seulement de l'augmentation de l'activité du GA, mais également d'autres aires cérébrales, comme le gyrus frontal inférieur et le cervelet. Il s'agit d'un réseau nécessaire pour le recalibrage de la

perception de l'espace visuel. Lors de l'AP droite, nos résultats montrent que cette AP modifie non seulement l'activité du lobule pariétal inférieur gauche, mais aussi le gyrus frontal inférieur droit. L'importance de cette dernière région a déjà été soulignée lors d'autres études. Serino et al. (2007) suggèrent qu'une lésion frontale entrave une amélioration significative de l'héminégligence par l'AP, car l'atteinte frontale interfère avec les mécanismes sous-jacents à la réhabilitation avec les lunettes prismatiques. Chez un groupe de sujets sains soumis à l'AP droite, les modulations principales au niveau pariétal et frontal droit font partie du réseau attentionnel fronto-pariétal droit, qui est nécessaire pour déterminer la localisation des objets qu'on voit (Corbetta et al., 2005). Chez un patient héminégligent cette voie serait altérée et entraînerait des difficultés pour des tâches requérant des processus impliquant la cognition spatiale (Corbetta et al., 2005).

Plusieurs études (Corbetta et al., 2005; Pisella and Mattingley, 2004; Pisella et al., 2006) ont suggéré qu'après les patients héminégligents l'AP droite induirait une augmentation de l'activité du cervelet droit ; ce dernier stimulerait ensuite l'activité cérébrale de l'hémisphère gauche, lequel à son tour interférerait indirectement par des interactions compétitives avec l'hémisphère droit. Ce comportement du cervelet droit serait, selon ces recherches, à la base de l'amélioration de l'héminégligence, car il permettrait l'activation de l'hémisphère gauche. L'augmentation de l'activité de l'hémisphère gauche serait liée à une tentative de rétablir un équilibre entre les deux hémisphères pour le traitement de la représentation interne des espaces visuels. Dans notre étude, que ce soit pour l'AP droite ou gauche, nous n'avons pas observé une augmentation de l'activité du cervelet ; cependant, Michel (2006) a évoqué une possible implication du cervelet gauche chez les sujets sains après une AP gauche. Sur la base de l'hypothèse suggérant une relation entre cervelet et activation contralatérale, nous pouvons proposer que cette implication du cervelet gauche lors d'une AP gauche entraîne une augmentation de l'activation dans les régions pariétales droites, en concordance avec nos observations.

Plusieurs recherches (Corbetta and Shulman, 2011; Corbetta et al., 2005) ont décrit deux systèmes attentionnels fronto-pariétaux : le système fronto-pariétal dorsal et celui fronto-pariétal ventral. Le système dorsal est responsable de l'attention spatiale et du contrôle visuo-moteur et inclut la carte spatiale de l'hémiespace contralatéral. Ce premier réseau comprend le sulcus intrapariétal, le lobule pariétal supérieur, le cortex préfrontal dorso-latéral et les champs visuels frontaux et supplémentaires. En revanche, le système

fronto-pariétal ventral, incluant le lobule pariétal inférieur, le gyrus temporal supérieur et le gyrus frontal inférieur/insula, est responsable de la réorientation de l'attention et de la vigilance pour les stimuli non attendus. Le système ventral interagit avec celui dorsal, qui permet de construire une mappe spatiale saillante. C'est un endommagement du système ventral qui peut être à l'origine des déficits non spatiaux (par ex. attention soutenue) des patients héminégligents (Corbetta and Shulman, 2011). L'AP a un effet plus important sur le système ventral, puisque comme montrent nos résultats, l'AP augmente l'activité du lobule pariétal inférieur, celui-ci inclus dans le système attentionnel ventral. De ce fait, l'AP modifie les représentations visuo-spatiales, ce qui a été démontré dans plusieurs études (Rode et al., 2006; Rossetti et al., 1998). Nos résultats suggèrent donc que l'AP a un effet plus important sur le système ventral, mais une discussion plus approfondie de ces effets dépassant le cadre de ce travail, cet effet n'est pas discuté plus en détail dans ce mémoire.

En conclusion nous avons montré que l'AP induit un phénomène de remappage des cartes spatiales impliquant le système attentionnel ventral. La région la plus importante du remappage est située au niveau du GA ; cette région montre une augmentation de l'activité maximale ipsilatérale à la cible, lorsque celle-ci est controlatérale à la déviation des prismes. Par ailleurs, on observe une augmentation de l'activité du GA plus importante lors de l'AP droite par rapport à l'AP gauche. On peut enfin conclure que le remappage peut survenir dans les deux hémisphères cérébraux selon la direction des prismes et implique principalement le système attentionnel ventral.

6. Bibliographie

- Azouvi, P., Rossetti, Y., and Rode, G. (2011). De la négligence aux négligences (Marseille: Solal éditeur).
- Bays, P.M., and Husain, M. (2007). Spatial remapping of the visual world across saccades. *Neuroreport* 18, 1207–1213.
- Berberovic, N., Pisella, L., Morris, A.P., and Mattingley, J.B. (2004). Prismatic adaptation reduces biased temporal order judgements in spatial neglect. *Neuroreport* 15, 1199–1204.
- Berman, R., and Colby, C. (2009). Attention and active vision. *Vision Res.* 49, 1233–1248.
- Bultitude, J.H., and Rafal, R.D. (2010). Amelioration of right spatial neglect after visuo-motor adaptation to leftward-shifting prisms. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 46, 404–406.
- Bultitude, J.H., Van der Stigchel, S., and Nijboer, T.C.W. (2012). Prism adaptation alters spatial remapping in healthy individuals: Evidence from double-step saccades. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.*
- Chapman, H.L., Eramudugolla, R., Gavrilescu, M., Strudwick, M.W., Loftus, A., Cunnington, R., and Mattingley, J.B. (2010). Neural mechanisms underlying spatial realignment during adaptation to optical wedge prisms. *Neuropsychologia* 48, 2595–2601.
- Clower, D.M., Hoffman, J.M., Votaw, J.R., Faber, T.L., Woods, R.P., and Alexander, G.E. (1996). Role of posterior parietal cortex in the recalibration of visually guided reaching. *Nature* 383, 618–621.
- Corbetta, M., and Shulman, G.L. (2011). Spatial Neglect and Attention Networks. *Annu. Rev. Neurosci.* 34, 569–599.
- Corbetta, M., Kincade, M.J., Lewis, C., Snyder, A.Z., and Sapir, A. (2005). Neural basis and recovery of spatial attention deficits in spatial neglect. *Nat. Neurosci.* 8, 1603–1610.
- Danckert, J., Ferber, S., and Goodale, M.A. (2008). Direct effects of prismatic lenses on visuomotor control: an event-related functional MRI study. *Eur. J. Neurosci.* 1696–1704.
- Frassinetti, F., Angeli, V., Meneghello, F., Avanzi, S., and Làdavas, E. (2002). Long-lasting amelioration of visuospatial neglect by prism adaptation. *Brain J. Neurol.* 125, 608–623.
- Godard, E. (2009). Mise en place d'un protocole d'évaluation des troubles de l'orientation spatiale: intérêts de l'observation en milieu écologique. Université Paul Sabatier; faculté de médecine Toulouse Rangueil.
- Halligan, P.W., Fink, G.R., Marshall, J.C., and Vallar, G. (2003). Spatial cognition: evidence from visual neglect. *Trends Cogn. Sci.* 7, 125–133.
- Heiser, L.M., and Colby, C.L. (2006). Spatial updating in area LIP is independent of saccade direction. *J. Neurophysiol.* 95, 2751–2767.
- Houdé, O., Mazoyer, B., and Tzourio-Mazoyer, N. (2010). Cerveau et psychologie- Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle (Presses Universitaires de France- puf).

- Luauté, J., Schwartz, S., Rossetti, Y., Spiridon, M., Rode, G., Boisson, D., and Vuilleumier, P. (2009). Dynamic changes in brain activity during prism adaptation. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 29, 169–178.
- Merriam, E.P., Genovese, C.R., and Colby, C.L. (2003). Spatial updating in human parietal cortex. *Neuron* 39, 361–373.
- Michel, C. (2006). Simulating unilateral neglect in normals: myth or reality? *Restor. Neurol. Neurosci.* 24, 419–430.
- Michel, C., Pisella, L., Halligan, P.W., Luauté, J., Rode, G., Boisson, D., and Rossetti, Y. (2003). Simulating unilateral neglect in normals using prism adaptation: implications for theory. *Neuropsychologia* 41, 25–39.
- Mort, D.J., Malhotra, P., Mannan, S.K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., and Husain, M. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain J. Neurol.* 126, 1986–1997.
- Mutha, P.K., Sainburg, R.L., and Haaland, K.Y. (2011). Left parietal regions are critical for adaptive visuomotor control. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 31, 6972–6981.
- Newport, R., and Schenk, T. (2012). Prisms and neglect: what have we learned? *Neuropsychologia* 50, 1080–1091.
- Pisella, L., and Mattingley, J.B. (2004). The contribution of spatial remapping impairments to unilateral visual neglect. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 28, 181–200.
- Pisella, L., Rode, G., Farnè, A., Tilikete, C., and Rossetti, Y. (2006). Prism adaptation in the rehabilitation of patients with visuo-spatial cognitive disorders. *Curr. Opin. Neurol.* 19, 534–542.
- Rode, G. (2003). Le syndrome de négligence unilatérale: de l'évaluation à la rééducation (Université de Lyon).
- Rode, G., Klos, T., Courtois-Jacquín, S., Rossetti, Y., and Pisella, L. (2006). Neglect and prism adaptation: a new therapeutic tool for spatial cognition disorders. *Restor. Neurol. Neurosci.* 24, 347–356.
- Rossetti, Y., Rode, G., Pisella, L., Farné, A., Li, L., Boisson, D., and Perenin, M.T. (1998). Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature* 395, 166–169.
- Saj, A., Cojan, Y., Vocat, R., Luauté, J., and Vuilleumier, P. (2011). Prism adaptation enhances activity of intact fronto-parietal areas in both hemispheres in neglect patients. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.*
- Serino, A., Bonifazi, S., Pierfederici, L., and Làdavas, E. (2007). Neglect treatment by prism adaptation: what recovers and for how long. *Neuropsychol. Rehabil.* 17, 657–687.
- Silver, M.A., and Kastner, S. (2009). Topographic maps in human frontal and parietal cortex. *Trends Cogn. Sci.* 13, 488–495.
- Striemer, C.L., and Danckert, J.A. (2010). Through a prism darkly: re-evaluating prisms and neglect. *Trends Cogn. Sci.* 14, 308–316.
- Thimm, M., Fink, G.R., and Sturm, W. (2008). Neural correlates of recovery from acute hemispatial neglect. *Restor. Neurol. Neurosci.* 26, 481–492.